



महाराष्ट्र साहित्य अकादमी



शो धां च्या क था अतिवाहकता

आयझॅक आसिमॉव्ह



गेत्या दोनशे वर्षांपासून शास्त्रज्ञांचे उघ्ण व थंड तापमान योजण्याचे प्रयोग चालू आहेत. सर्वात थंड म्हणजे किती थंड ही त्यांच्यापुढील मोठीच समस्या होती. तापमापकाच्या इतिहासाची नोंद घेताना फॅरनहाइट, केल्विन, सेल्सियस या शास्त्रज्ञांची नावे आजही त्यांनी बनविलेल्या तापमापकांच्या रूपाने आपल्या तोंडी आहेत. तापमानाच्या मोजमापाच्या अभ्यासाचा वेध घेताना त्यांना योगायोगाने मिळालेली काही उत्तरे धक्का करणारी होती. अत्यंत कमी तापमानाचा काही इश्यातून उर्जेचे वहन होताना त्यात अजिबातच विरोध नसतो असा आश्चर्यकारक शोध त्यांना लागला. याचाच आपण अतिवाहकता म्हणतो. या 'योगायोगाने' लागलेल्या शोधामुळे आपल्या जीवनात आणि कार्यपद्धतीत क्रांतिकारी बदल घडू शकतात.



अनुवाद-सुजाता गोडबोले

शोधान्या कथा

अतिवाहकता

आयझॅक आसिमॉव्ह

अनुवाद : सुजाता गोंडबोले



यशवंतराव चवण प्रतिष्ठान

अनुक्रमणिका

- १ | तापमान मोजणे-४
- २ | कमीत कमी
तापमानाचा शोध-१२
- ३ | वायूंचे द्रवात
रूपांतर-२१
- ४ | हेलियमशी झटापट-३२
- ५ | अतिवाहकता-४३

Shodhanitya Katha - Atiwahakata
शोधध्या कथा - अतिवाहकता

प्रकाशक : अरविंद मनःश्याम पाटकर
मनोविकास प्रकाशन, सदनिका क्र. ३/अ, चौथा मजला, शक्ती टॉवर्स,
६७२, नारायण पेठ, ३. म. वि. समोरील मल्ली, पुणे - ४११०३०.
दूरध्वनी : ०२०-६५२६२९५०
Website : www.manovikasprakashan.com
Email : manovikaspublication@gmail.com

© हक्क सुरक्षित

मुखपृष्ठ : गिरीश सहस्रबुद्धे अक्षरजुळणी । गणराज उद्योग, पुणे.
मुद्रक : बालाजी एन्टरप्रायजेस, पुणे, प्रथमावृत्ती । ११ जून २०१२
ISBN : 978-93-81636-91-6

मूल्य : रुपये ३५

१ | तापमान मोजणे

शास्त्रज्ञांना प्रश्न विचारण्याची सवय असते. पाण्याचे तापमान खाली गेल्यास त्याचे बर्फात रूपांतर का होते? सर्वात थंड तापमान म्हणजे किती? कोरड्या बर्फाचे (ड्राय आइस) गुणधर्म नेहमीच्या बर्फापेक्षा निराळे का असतात? प्रयोगशाळेत, त्याचप्रमाणे प्रत्यक्षातदेखील संशोधक उत्तर मिळवण्यासाठी पायरी पायरीने पुढे जातात.

काही वेळा जगाच्या निरनिराळ्या भागांतील शास्त्रज्ञ एकाच वेळी एकाच समस्येबाबत संशोधन करत असतात. कधीकधी जुन्या शास्त्रज्ञांनी केलेल्या कामाच्या आधारेने पुढे जाऊन नवे शास्त्रज्ञ आपले कार्य सुरू करतात.

एखाद्या प्रश्नाचे उत्तर शोधताना शास्त्रज्ञांना काही वेळा अनपेक्षितरीत्या एखादा नवाच शोध लागतो. ते विचारत नसलेल्या प्रश्नाचेदेखील कधीतरी अचानक उत्तर मिळते. शास्त्रांचा अभ्यास करताना मिळालेले असे आश्चर्याचे धक्के म्हणजे शास्त्रज्ञांना मिळणारा बोनसव!

तापमानासंबंधी सर्व काही जाणून घेण्याच्या प्रयत्नांत असताना अशीच एक अनपेक्षित घटना घडली. त्यांना 'सुपरकंडक्टिव्हिटी' म्हणजेच 'अतिवाहकतेचा' शोध लागला. या शोधाने आपले रोजचे जग बदलूनच गेले.

या आश्चर्याचा, म्हणजे ऊर्जेचे वहन होताना तारा किंवा मंडले यांच्याद्वारे थोडीदेखील ऊर्जा नष्ट न होणे, याचा आपण आता पायरी पायरीने मागोवा घेऊ या.

रात्रीपेक्षा दिवसाचे तापमान अधिक असते हे आपणा सर्वांनाच

माहीत आहे. हिवाळ्यापेक्षा उन्हाळ्यात अधिक उष्ण जाणवतो.

उकळते पाणी किंवा जळती काडी अतिशय गरम असतात, त्यांच्यामुळे आपल्याला इजा होऊ शकते, तसेच कोरडा बर्फही अतिशय थंड असतो व त्यानेही इजा होऊ शकते.

म्हणूनच एखादी गोष्ट किती गरम अथवा किती थंड आहे हे आपण दर वेळेस हात तावून किंवा स्पर्श करून पाहत नाही. ते जर अतिशय गरम किंवा थंड असेल, तर आपल्याला यातना होतील. हात लावल्यावर गरम किंवा थंड वस्तूचा स्पर्श जरी सुखकारक असला, तरीही केवळ स्पर्शाने पाहिल्यास ती वस्तू नेमकी किती गरम अथवा थंड आहे हे सांगणे कठीणच होईल.

म्हणूनच आपल्या स्पर्शपेक्षा ज्यावर विसंबता येईल अशा एखाद्या उपकरणाची आपल्याला गरज भासते.

वस्तू गरम अथवा थंड झाल्या तर त्यांच्यात इतरही काही बदल घडून येतात. उदाहरणार्थ, बहुतेक वस्तू गरम होताना थोड्याशा प्रसरण पावतात, थोड्याशा मोठ्या होतात. तसेच थंड होताना त्या थोड्याशा आकुंचन पावून लहान होतात.

हे बदल सूक्ष्म असतात व सहसा आपल्या लक्षातही येत नाहीत, परंतु आपल्याकडे आतून खोलगट आकाराचा व द्रव स्वरूपातील पान्याने भरलेला एक छोटासा बल्ब किंवा गोळा आहे अशी कल्पना करा. त्याच गोळ्याला एक तांब काचची पाकळ नळी जोडली आहे. या नळीत काहीच नाही म्हणजे हवादेखील नाही. म्हणजेच ही 'निर्वात पाकळी' (इंग्रजीत 'व्हॅक्युम' या लॅटिन शब्दाचा अर्थ आहे 'रिकामी') आहे.

त्यानंतर हा पारा गरम केला अशी कल्पना करा. तो थोडासाच प्रसरण पावेल आणि त्यातील थोडा पारा त्या गोळ्याला जोडलेल्या बाहेरील नळीत ढकलता जाईल. पारा जितका अधिक गरम होईल, तसे त्याचे अधिक प्रसरण होईल व नळीतील स्तंभाची उंची वाढेल.

पारा जर थंड केला तर त्याचे आकुंचन होईल व स्तंभ लहान होईल. पाण्याच्या स्तंभाच्या उंचीवरून पारा किती गरम अथवा थंड आहे हे सांगता येईल. म्हणजेच त्याच्या भोवतीचे पाणी अथवा हवाही किती गरम वा थंड आहे हे समजेल. अशा उपकरणाला आपण 'तापमापक' (इंग्रजीत 'थर्मामीटर' या ग्रीक शब्दाचा अर्थ आहे 'उष्णता मोजणे') म्हणतो. पाण्याच्या स्तंभाच्या उंचीवरून आपल्याला 'तापमान' समजते.

गॅब्रिएल डॅनिएल फॅरनहाइट (१६८६-१७३६) नावाच्या डच शास्त्रज्ञाने पाण्याचा असा पहिला तापमापक १७१४ साली तयार केला. तापमान आकड्यांमध्ये मोजता यावे यासाठी त्याने पाण्याचा स्तंभ अरुणान्या काचेच्या निकाच्या नळीवर सारख्या अंतरावर खुणा केल्या व त्यांना १, २, ३ असे आकडे घातले. प्रत्येक भागाला 'अंश' किंवा 'डिग्री' असे म्हणतात. 'डिग्री' या लॅटिन शब्दाचा अर्थ आहे 'पायरी'.

पण मोजायला सुरुवात कुठपासून करायची? कमी तापमान मिळण्यासाठी बर्फाचे तुकडे करून त्यात पाणी मिसळणे हा एक मार्ग आहे. तापमापकाचा पारा भरलेला 'बल्ब' किंवा खोलगट भाग जर अशा मिश्रणात ठेवला, तर पाण्याच्या स्तंभाची उंची पाण्याचा 'गोठण बिंदू' मानता येईल व त्याला शून्य तापमान म्हणता येईल.

परंतु पाण्याचा गोठण बिंदू पुरेसा थंड नाही असे फॅरनहाइटचे मत होते. म्हणून त्याने या पाण्यात मीठ मिसळले. साध्या पाण्यापेक्षा मीठ असलेले पाणी गोठण्यासाठी तापमान आणखीच कमी असावे लागते. कमीत कमी तापमान मिळण्यासाठी त्याने पाण्यात अधिकाधिक मीठ घातले व त्या वेळच्या पाण्याच्या स्तंभाला शून्य असा आकडा घातला.

शुद्ध पाणी गोठण्याच्या बिंदूला व शुद्ध पाणी उकळण्याच्या बिंदूलाही त्याने खुणा केल्या. या गोठण बिंदूपासून ते उत्कलन

बिंदूपर्यंतच्या स्तंभाचे त्याने १८० सारखे भाग केले व ते शून्याच्या खुणेपर्यंत आणले.

या फॅरनहाइट मोजपट्टीवर पाणी गोठण्याचा बिंदू ३२ या खुणेवर येतो व उत्कलन बिंदू येतो २१२ या खुणेवर. म्हणून पाण्याचा गोठण बिंदू ३२ अंश फॅरनहाइट व उत्कलन बिंदू २१२ अंश फॅरनहाइट आहे असे आपण म्हणतो.

या पद्धतीच्या मोजमापानुसार मानवी शरीराचे तापमान सामान्यतः ९८.६ अंश फॅरनहाइट असते. एखादी व्यक्ती आजारी असेल, तर हे तापमान १०० अंश फॅरनहाइट किंवा त्याहूनही अधिक वाढते. मग आपण 'ताप आला' असे म्हणतो.

फॅरनहाइट मोजपट्टी तशी फारशी सोयीस्कर नाही. पाण्याचा गोठण बिंदू व उत्कलन बिंदू साध्या आकड्यात मांडलेले नाहीत. १७४२ साली जॅडर्स सेल्शियस (१७०१-१७४४) या स्वीडिश शास्त्रज्ञाने एक निराळी पट्टी सुचवली. त्याने पाण्याच्या गोठण बिंदूला म्हटले '०' अंश व उत्कलन बिंदूला म्हटले '१००' अंश.

आता आपण पाण्याचा गोठण बिंदू '०' अंश सेल्शियस व उत्कलन बिंदू '१००' अंश सेल्शियस आहे असे म्हणू शकतो. या पद्धतीनुसार मानवी शरीराचे तापमान सामान्यतः ३७ अंश सेल्शियस असते.

ही सेल्शियस पद्धती इतकी लोकप्रिय झाली, की एक देश सोडून जगातील सर्व देशांत तीच वापरली जाते. अमेरिका या जगातील एकमेव देशात फॅरनहाइट पद्धत वापरली जाते. अमेरिकेतदेखील शास्त्र मात्र सेल्शियस पद्धतीच वापरतात.

या पुस्तकातदेखील मी सेल्शियस पद्धतीच वापरणार आहे.

पाण्याचे तापमापक ही तापमान मोजण्याची एक पद्धत आहे; पण ती काही एकमेव पद्धत नाही. पारा उकळू लागेल त्याहूनही अधिक तापमान मोजण्यासाठी किंवा पारा गोठून जाण्याच्याही



अँडर्स सेल्शियस

खालचे तापमान मोजण्यासाठी इतर मार्गांचा अवलंब करावा लागतो. पण या पुस्तकात आपण त्यांचा विचार करणार नाही.

तापमान किती उच्च असू शकेल? उन्हाळ्यातील सूर्यामुळे आपल्या सभोवतीची हवा गरम होते. पृथ्वीवर आतापर्यंत मोजण्यात आलेले सर्वात उच्च तापमान १३ सप्टेंबर १९१२ या दिवशी लिबिया नावाच्या देशात नोंदण्यात आले. सावलीतील हे तापमान होते ५८ अंश सेल्शियस (किंवा १३६ अंश फॅरनहाइट).

पृथ्वीच्या गरम भागांवर सूर्य एका वेळी सुमारे १२ तास तळपत असतो; व वाऱ्याबरोबर थंड हवा येते. चंद्रावर सूर्य साधारणपणे एका वेळी दोन आठवडे तळपतो; आणि चंद्रावर हवा नाही, म्हणून थंड वाराही नाही. चंद्रावरचे तापमान ११७ अंश सेल्शियसपर्यंत असू शकते, म्हणजे ते पाण्याच्या उत्कलन बिंदूपेक्षाही अधिक होते.

एखाद्या मोठ्या वस्तूच्या केंद्रस्थानातील तापमान त्याच्या पृष्ठभागापेक्षा अधिक असते. पृथ्वीच्या केंद्रस्थानातील तापमान सुमारे ६,००० अंश सेल्शियस इतकं आहे. गुरुच्या केंद्रातील तापमान ५४,००० अंश सेल्शियस आणि सूर्याच्या अंतर्भागातील तापमान १,५०,००,००० (एक कोटी ५० लक्षा) अंश सेल्शियस असावे, असा अंदाज आहे.

सूर्यपेक्षा आकाराने मोठे असणारे तारे सूर्याहूनही अधिक गरम आहेत. काहींच्या केंद्रभागातील तापमान अब्जावधी अंश असण्याची शक्यता आहे.

विश्वाची जेव्हा प्रथम निर्मिती झाली व जेव्हा सर्व द्रव्य एका लहानशा अणूपेक्षाही लहान कणात एकवटलेले होते, त्या वेळी त्याचे तापमान अब्ज, अब्ज, अब्ज अंशाहूनही अधिक असावे, असा अंदाज आहे. म्हणजेच तापमान किती उच्च असू शकेल

किंवा वस्तू किती उष्ण असू शकतील याला काही अंतर्घट नाही.
आता दुसऱ्या टोकाला जाऊन वस्तू किती थंड असू शकतील याचा विचार करू या.

पृथ्वीवरील तापमान शून्य अंश सेल्सियसच्या कितीतरी खाली जाऊ शकते. तापमान जर शून्याखाली दहा अंश असेल, तर आपण म्हणतो 'गोठण बिंदूच्या खाली १० अंश' किंवा '-१० अंश सेल्सियस' म्हणजे अधिक सोयीचे होते. '-' उणे या चिन्हाने शून्याखालचे तापमान दर्शवले जाते.

दक्षिण ध्रुवावरील अंटार्क्टिका खंड हा पृथ्वीवरील सर्वात थंड प्रदेश आहे. रशियन शास्त्रज्ञांनी अंटार्क्टिकावर महासागरापासून सर्वात दूरच्या ठिकाणी आपले संशोधन केंद्र उभारले आहे. ते अंटार्क्टिकावरील सर्वात थंड ठिकाण मानता येईल. २१ जुलै १९८३ रोजी तेथे -८९.२ अंश सेल्सियस अशी नोंद झाली. पृथ्वीवरील ते आतापर्यंतचे सर्वात कमी तापमान आहे.

चंद्रावर इतर ठिकाणांहून ऊब आपण्यासाठी हवाच नसल्याने तेथील तापमान याहूनही अधिक थंड होऊ शकते. चंद्रावरील रात्र दोन आठवड्यांची असते व त्या वेळी तेथील तापमान कमी कमीच होत जाते. या लांबलचक रात्रीच्या अखेरीस चंद्रावरील तापमान - १२७ अंश सेल्सियस इतक्यापर्यंत जाऊ शकते.

सूर्यापासून खूप दूर असणाऱ्या ग्रहांवरील तापमान याहूनही कमी असते. सर्वात दूरचा ग्रह प्लुटोच्या पृष्ठभागावरील तापमान - २१८ अंश सेल्सियस असावे, असा अंदाज आहे.

याचा अर्थ, एखादी वस्तू किती थंड असू शकेल याची काही सीमाच नाही का? तापमान किती कमी होऊ शकेल याला काहीच मर्यादा नाही का?

आश्चर्य म्हणजे, 'मर्यादा आहे' असे याचे उत्तर आहे. तापमान जरी कितीही वाढू शकत असले, तरी ते किती कमी होऊ शकेल

याला मर्यादा आहे. तापमान कमीत कमी किती असू शकेल ते ठरलेले आहे; व काहीच त्याहून अधिक थंड असू शकत नाही.

नेहमीचे शून्य हे तापमान हा केवळ एक सोयीचा आकडा आहे. पाण्याच्या गोठण बिंदूला 'शून्य अंश सेल्सियस' मानणे हे सेल्सियससाठी सोयीचे होते; पण तापमान त्याहूनही कमी असू शकते. फॅरनहाइटने मिठाच्या पाण्याच्या गोठण बिंदूला 'शून्य अंश फॅरनहाइट' म्हणजे सोयीचे मानले; पण तापमान त्याहूनही कमी होऊ शकते.

अंटार्क्टिकावरील सर्वात कमी तापमानाला किंवा चंद्रावरील अथवा प्लुटोवरील कमीत कमी तापमानाला आपण 'शून्य अंश' मानले. तरीही तापमान त्याहूनही कमी होऊ शकते. पण आपण जर सर्वात कमी तापमानाला 'शून्य अंश' मानले, तर मात्र ते 'खरे शून्य' (रिअल झिरो) तापमान असेल.

ज्या तापमानाहून काहीच अधिक थंड असू शकणार नाही त्याला जर आपण 'शून्य अंश' मानले, तर त्याला 'केवल शून्य' (अॅब्सोल्यूट झिरो) म्हणता येईल.

पण मग असा प्रश्न येतो, की शास्त्रज्ञांना असे 'केवल शून्य' असेल अशी कल्पना तरी कशी सुचली?

२ | कमीत कमी तापमानाचा शोध

गिपोम अमोन्तो (१६६३-१७०५) या फ्रेंच शास्त्रज्ञाला 'केवल शून्य' (अॅबसोल्यूट झिरो) तापमान असू शकेल अशी कल्पना सर्वप्रथम सुचली.

तापमान मोजण्यामध्ये अमोन्तॉला खूपच स्वारस्य होते; पण फॅरनहाइटने पाण्याचे तापमापक शोधून काढण्याच्या पूर्वीच्या काळात तो होऊन गेला. पाण्याऐवजी हवा गरम झाली की ती कशी प्रसरण पावते व थंड झाल्यावर कशी आकुंचन पावते यावरून तापमान मोजण्याचा त्याने प्रयत्न केला. अशा प्रकारचे 'हवेचे तापमापक' फारसे चांगले नाही, पण अमोन्तॉला हवेच्या या प्रसरण-आकुंचनात फारच स्वारस्य निर्माण झाले.

हवा जसजशी थंड होते, तशी ती एक विशिष्ट गतीने आकुंचन पावते, असे त्याच्या लक्षात आले. शिवाय इतर प्रकारचे वायूदेखील अशाच स्थिर गतीने आकुंचन पावतात, असेही त्याच्या लक्षात आले. म्हणून हवा किंवा इतर कोणताही वायू जर अधिकाधिक थंड होत गेला, तर त्याचे आकारमान कमी कमी होत जाईल व अखेर ते आकारमान शून्यापर्यंत येऊन पोचेल.

आकुंचन पावूनदेखील वायूचे आकारमान शून्याच्या खाली जाऊ शकणार नाही याचाच अर्थ, तापमान यादून आणखी कमी होऊ शकणार नाही. एकदा वायूने शून्य आकारमानाची पातळी गाठली की तो असेल 'परम-निरपेक्ष' किंवा 'केवल शून्य' ('अॅबसोल्यूट झिरो') व त्याहून थंड काहीच असू शकणार नाही.

अमोन्तॉने हा शोध १६९९ साली लावला, पण कोणावरच त्याचा फारसा प्रभाव पडला नाही व बराच काळपर्यंत त्याचे कार्य

विस्मरणातच गेले.

त्यानंतर १७८७ साली जॅक अलेक्झांडर चार्ल्स (१७४६-१८२३) या आणखी एक फ्रेंच शास्त्रज्ञानेही तापमानाबरोबर वायूच्या बदलत्या आकारमानाचा अभ्यास केला. या वेळेपर्यंत पाण्याच्या तापमापकाचा शोध लागला असल्याने अमोन्तॉपेक्षा चार्ल्सला त्याचा



गॅसिलिओचा हवेचा तापमापक

बराच फायदा मिळाला.

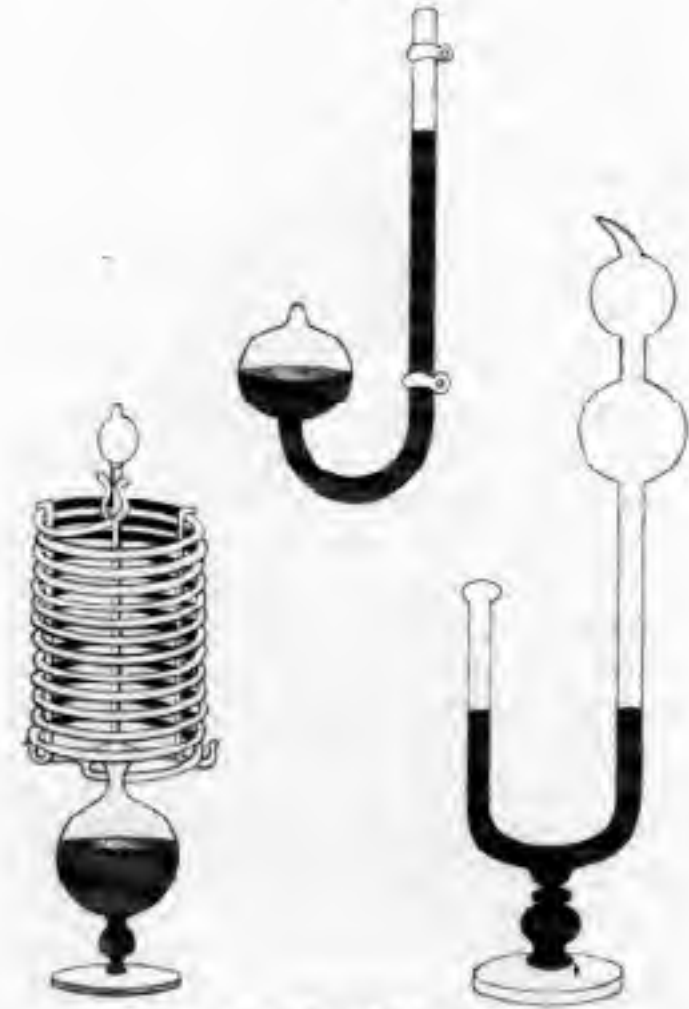
जर 0 अंश सेल्सियस तापमानाची हवा घेऊन ती -१ अंशापर्यंत थंड केली तर ती मूळच्या आकारमानाच्या सुमारे १/२७० इतकी आकुंचन पावते, असे चार्ल्सला दिसून आले. 0 अंश तापमानाला प्रत्येक कमी होणाऱ्या एक अंशाबरोबर त्याचे आकारमान आणखी १/२७० या प्रमाणात कमी होत होते. इतर वायूंनाही हाच गुणधर्म लागू होत असल्याचे त्याला आढळले.

दुसऱ्या शब्दात सांगायचे तर, सगळा तुम्ही 0 अंश सेल्सियस तापमानाची २७० घन इंच हवा घेऊन सुरुवात केलीत, तर त्याचे तापमान -१ अंश से. झाल्यावर त्याचे आकारमान होईल २६९ घन इंच.

-२ अंश से. ला ते होईल २६८ घन इंच, -३ अंश से. ला ते असेल २६७ घन इंच वगैरे वगैरे. तापमान जेव्हा -२७० अंश से. होईल तेव्हा किंवा त्या सुमारास हवेचे आकारमान 0 घन इंच होईल, म्हणजेच ते 'परम-निरपेक्ष' किंवा 'केवल शून्य' असेल.

चार्ल्सने त्याचे शोध लिहून प्रकाशित केले नाहीत, त्यामुळे इतर शास्त्रज्ञांना त्याच्या संशोधनासंबंधी काहीच माहीत नव्हते. कदाचित ही 'केवल शून्य'ची कल्पना उघडपणे बोलल्यास लोकांना फारच विचित्र वाटेल, असे त्याला वाटते असेल. पण त्याने खाजगीरीत्या या नोंदी ठेवल्या होत्या म्हणून त्याच्या कल्पना आपल्याला माहीत झाल्या.

त्यानंतर १८०२ साली जोसेफ लुई गे-ल्यूसाक (१७७८-१८५०) या आपखी एका फ्रेंच शास्त्रज्ञानेही अशा प्रकारचे संशोधन केले. त्याचेही तेच निष्कर्ष होते व ते त्याने प्रकाशित केले. त्यावरून मग बऱ्याच शास्त्रज्ञांनी 'केवल शून्य' या कल्पनेचा विचार करायला सुरुवात केली व 'केवल शून्य' म्हणजे नेमके किती तापमान असेल हे शोधण्याचे प्रयत्न सुरू झाले.



सतराव्या शतकातील तापमापके

आता 'केवल शून्य' म्हणजे -२७३.१५ अंश से. (-४५९.६७ अंश फॅ.) असे शास्त्रज्ञांनी मान्य केले आहे.

अर्थात, वायूच्या आकारमानातील आकुंचन मोठून 'केवल शून्या'चे तापमान मोजण्यात काही अडचणी आहेतच. तापमान कमी होताना सर्वच वायू वायुरूपच राहतात असे नाही. निदान काही वायू तरी वायुरूप राहात नाहीत.

१०० अंश से. किंवा त्यावरील तापमानाला पाणी वायुरूप असते; पण त्या तापमानाला ते थंड झाल्यास द्रवरूप बनते, अल्फांसेल हा वायू ७८.४ अंश से. ला द्रवरूप होतो. ३४.६ अंश से. ला इथर द्रवरूप होतो, तर बुटेन नावाचा वायू -०.५ अंश से. ला द्रवरूप बनतो.

वायूचे एकदा द्रवात रूपांतर झाले, की थंड होताना त्याचे आकुंचन होत जाते; पण त्याच्या आकुंचनाचा वेग वायुरूपाच्या आकुंचनाच्या वेगापेक्षा बराच कमी असतो.

गे ल्यूसाकच्या काळात, शास्त्रज्ञ ज्या न्यूनतम तापमानापर्यंत पोचू शकत होते, त्या तापमानाला हवा व इतर काही वायू वायुरूपच राहात असत. तरीही, त्याहूनही कमी तापमान झाल्यास ते वायूदेखील द्रवात रूपांतरित होतील व त्याहून अधिक थंड झाल्यास त्यांच्या आकुंचनाचा वेगही बराच कमी होईल, अशी कल्पना करणे तार्किकदृष्ट्या योग्यच होते. वास्तवात अतिशय थंड झाल्यावर त्यांच्या आकारमानातील आकुंचन पूर्णपणे थांबूही शकते. तसे झाल्यास, तापमान -२७३.१५ अंश से.च्या खाली जाऊनदेखील आकारमान कधीच शून्यापर्यंत पोचणार नाही, म्हणजे 'केवल शून्य' या कल्पनेला अर्थच राहणार नाही.

१८४८ साली विल्यम थॉमसन (१८२४-१९०७) या इंग्लिश शास्त्रज्ञाने या समस्येचा विचार केला. (काही काळाने इंग्लिश सरकारने थॉमसनला 'बॅरन केल्व्हिन' असा मानाचा किताब दिला. तेव्हापासून



जोसेफ गे. ल्यूसाक

सामान्यतः तो 'लॉर्ड केल्विन' या नावानेच ओळखता जातो. काही वेळा हा किताब मिळण्याआधीच्या त्याच्या संशोधनाविषयी बोलतानादेखील त्याचा उल्लेख 'लॉर्ड केल्विन' असाच केला जातो.)

सर्व द्रव्ये सूक्ष्म अणूंची व त्यांच्या गटांतून निर्माण झालेल्या रेणूंची बनलेली असतात, असा लॉर्ड केल्विनने विचार केला. वायूंमध्ये हे रेणू सहजपणे हालचाल करत असतात. द्रव व घन पदार्थात ते त्याच ठिकाणी राहिले तरी त्या जागेत ते पुढे-मागे असा जलद संचार करत असतात.

या रेणूंनी मुक्त संचार केला किंवा जडझडलेल्या ठिकाणीच ते धरधरत राहिले, तरीही त्यांची हालचाल होते, याचा अर्थ त्यांच्यात ऊर्जा अस्ते. तापमान जितके अधिक व पदार्थ जितका गरम तितकी रेणूंची हालचाल जलद, म्हणजेच त्यांच्यातील ऊर्जा अधिक. तापमान जितके कमी व वस्तू जितकी थंड तितके अणू व रेणू संथ गतीने हालचाल करतात व त्यांच्यात ऊर्जा कमी असते. वायू, द्रव व घन पदार्थ या सर्वांच्याच बाबत हे खरे असल्याचे दिसून येते.

केल्विनने असे दाखवून दिले, की आकारमानापेक्षा ऊर्जा अधिक महत्त्वाची असते. 'केवल शून्य' या ठिकाणी कोणत्याही पदार्थातील ऊर्जा शून्यावर येते व त्याद्वन ती कमी होऊ शकत नाही. म्हणून 'केवल शून्य' ही संकल्पना -२७३.१५ अंश या ठिकाणी खरोखरच अस्तित्वात असते. सर्व वायू अतिशय कमी तापमानात द्रवरूप होतात की नाही याचा त्यांच्याशी काहीही संबंध नाही.

१८५१ साती, सर्व तापमाने 'केवल शून्या'पासून सेल्सियस अंशात मोजली जावीत, असे लॉर्ड केल्विनने सुचवले. अशा मोजण्याच्या पद्धतीला लॉर्ड केल्विनच्या सन्मानार्थ 'केल्विन स्केल' किंवा 'अॅबसोल्यूट स्केल' असे म्हणतात.

'केवल शून्य' म्हणजेच 'शून्य अंश केल्विन' किंवा '० अंश के.' पाण्याच्या गोठणबिंदूखाली २७३.१५ अंश म्हणजे 'केवल



वायुरूप



द्रवरूप



घनरूप

रेणूंचे परिवर्तन



लॉर्ड केल्विन

शून्य' असल्यामुळे पाणी 'केवल शून्या'च्या वर 273.15 अंश तापमानाला किंवा 273.15 अंश के. या तापमानाला गोठते. सेल्शियस तापमानाचे केल्विन तापमानात रूपांतर करण्यासाठी सेल्शियस आकड्यांत 273.15 हा आकडा मिळवता म्हणजे जाते. पाणी 100 अंश सेल्शियसला उकळते आणि $100 + 273.15 = 373.15$, म्हणून पाणी 373.15 अंश के. तापमानाला उकळते.

यापुढे या पुस्तकात मी केल्विन मोजमापन पद्धतीचा वापर करणार आहे व सेल्शियस आकडे कंसात देणार आहे.

३ वायूंचे द्रवात रूपांतर

एकदा गे ल्यूसाकने शास्त्रज्ञांना 'केवल शून्या'चा विचार करायला प्रवृत्त केल्यापामून, हवा व इतर वायू 'केवल शून्या'हून अधिक तापमानाला द्रवरूप बनवता येतील का, याचा ते विचार करू लागले. तसे करण्यासाठी त्यांना, जरी 'केवल शून्या'पर्यंत नसले, तरी वायू बऱ्याच कमी तापमानापर्यंत थंड करावे लागणार होते.

परंतु गे ल्यूसाकच्या काळात तापमान इतके खाती नेण्याचा काहीच मार्ग नव्हता. खरोखरीची अत्यंत कमी तापमाने मिळण्यासाठी हिवाळ्यात सायबेरियात जाणे (किंवा नंतरच्या काळात अंटार्क्टिकावर जाणे) एवढा एकच मार्ग होता. तरीही अंटार्क्टिकावरील कमीत कमी तापमान होते 188 अंश के., अथवा 'केवल शून्या'च्या वर जवळजवळ 200 अंश. वायू द्रवरूप होण्यासाठी ते बहुधा पुरेसे नसणार.

1823 साली मायकेल फॅरडे ($1791-1867$) या इंग्रज शास्त्रज्ञाने आणखी एका मार्गाचा विचार केला. एखादा वायू जर दबावाखाली ठेवला, तर त्याचे रेणू एकमेकांजवळ ढकलले जातात व त्यांची द्रवात रूपांतर होण्याची प्रवृत्ती वाढते. एखादा वायू दबावाखाली ठेवून त्याचे तापमान कमी केले तर कदाचित फक्त तापमानच कमी करण्याऐवजी या दोन्हीच्या एकत्रित परिणामामुळे त्याचे द्रवात रूपांतर करणे सोपे होईल.

फॅरडेने जाड काचेची एक मजबूत नळी घेऊन सुरुवात केली. तापवत्यावर त्यातून क्लोरिन नावाचा वायू तयार होईल असे एक रसायन त्याने काही प्रमाणात या नळीच्या तळाशी घातले. नळीचे दुसरे टोक त्याने वितळून बंद केले व मध्यभागी तापवून त्याला

बूमरंगचा आकार दिला.

त्यानंतर रसायन असलेला नळीचा भाग त्याने गरम पाण्यात ठेवला व दुसरे टोक ठेवले बर्फाच्या पाण्यात. गरम पाण्यातील टोकाला अधिकाधिक क्लोरिन वायू तयार झाला. त्यामुळे यावरील दबाव वाढत गेला. अखेर हा मोठा दबाव व बर्फाच्या पाण्याची थंडी यामुळे थंड टोकाला द्रव क्लोरिन तयार झाला.

दबाव नसल्यास क्लोरिन 238.6 अंश के. (-38.4 अंश से.) ला द्रवरूप होतो. सायबेरियातील हिवाळ्यात तो सहज द्रवरूप होईल. पण दबाव व कमी तापमान यांचा एकत्रितरीत्या वापर करून एरवी अतिशय थंड तापमानात द्रवरूप धारण करणारे वायू या रीतीने द्रवरूप बनवता येतात.

शिवाय, कमी तापमान मिळवण्याचा एक नवा मार्ग शास्त्रज्ञांना यातून उपलब्ध झाला. दबावाखाली एखादा वायू द्रवरूप बनवण्यात आला आणि ती कुपी बूच किंवा तशाच प्रकारचे बाहेरील उष्णता बाहेरच ठेवणाऱ्या आवरणात ठेवली अशी कल्पना करा. नंतर ही कुपी थोडीशी उघडली की जातील द्रव उकळू लागेल व त्याचे वायूत रूपांतर होईल. वायू तयार होण्यासाठी द्रवातील रेणू एकमेकांपासून दूर व्हावे लागतील. त्यासाठी ऊर्जेची गरज असेल. ही ऊर्जा त्या द्रवातूनच यावी लागेल. म्हणजे द्रव वायुरूप होतानाच चटकन अतिशय थंडही होते.

१८३५ साली सी.एस.ए. थिलोरिये या फ्रेंच रसायनशास्त्रज्ञाने कर्बद्विप्राणील वायू (कार्बन डायॉक्साइड) या वायूपासून सुरुवात केली व फॅरडेच्या पद्धतीने त्याचे द्रवांत रूपांतर केले. काचेच्या नळीपेक्षा बळकट अशा धातूच्या नळीचा त्याने यासाठी उपयोग केला. बराचसा द्रवरूप कर्बद्विप्राणील वायू तयार झाल्यानंतर त्याने त्यापैकी काहीचे बाष्पीभवन (इव्हॅपोरेशन) होऊ दिले, म्हणजेच तो वायुरूप होऊ दिला. तो आपखी थंड झाल्यावर त्याचा घनरूप



मायकेल फॅरडे

कबडिप्राणील तयार झाला.

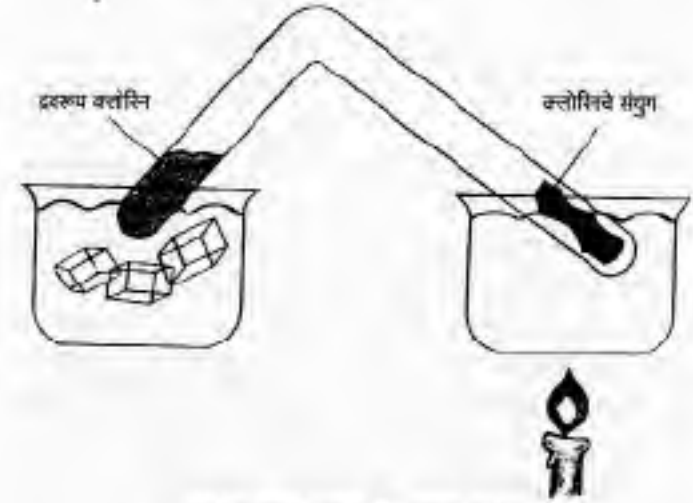
घन स्वरूपातील कबडिप्राणील बर्फासारखा दिसतो; पण तो पितळून त्याचे द्रवात रूपांतर होत नाही. घन कबडिप्राणीलचा ठोकळा घेतल्यास त्याचे द्रवात रूपांतर न होता संघ गतीने वायूत रूपांतर होते. म्हणूनच याला 'कोरडा बर्फ' (ड्राय आइस) म्हणतात. 194.6 अंश के. (-68.5 अंश से.) या तापमानाला त्याचे वायूत रूपांतर होते.

कोरड्या बर्फाचे तुकडे करून ते द्रव इथरमध्ये घालता येतात, कारण तापमान अतिशय कमी झाल्याखेरीज इथर गोठत नाही. कोरड्या बर्फामुळे इथर थंड होतो व त्याचे संघ गतीने वायूत रूपांतर होते, परिणामी त्याचे तापमान अधिकच थंड होते. कोरडा बर्फ व व इथर यांच्या मिश्रणाचे तापमान 163 अंश के. (-110 अंश से.) इतके खाली जाऊ शकते. अंटाकिटकावरील तापमानापेक्षाही हे कितीतरी अधिक थंड आहे.

आता, नळीच्या एका टोकाला वायू निर्माण करून दुसरे टोक बर्फाच्या पाण्यात बुडवून थंड करण्याऐवजी दुसरे टोक कोरडा बर्फ व इथरच्या मिश्रणात बुडवता येते. यामुळे पूर्वी ज्या वायूचे द्रवात रूपांतर करणे शक्य नव्हते असे अनेक वायू आता सहज द्रवात रूपांतरित करता येतात.

1860 सालाच्या सुमारास माहीत असलेले फक्त चारच वायू द्रवरूप बनवता येत नव्हते. ते होते : ज्या दोन वायूंची मिळून हवा बनते ते प्राणवायू (ऑक्सिजन) व नत्रवायू (नायट्रोजन); कार्बन मोनॉक्साइड हा मोटारीच्या धुरात असणारा विषारी वायू आणि वजनाने सर्वात हलका असणारा हायड्रोजन वायू.

एकोणिसाव्या शतकाच्या अखेरीस शोध लागलेल्या आणखी चार वायूंनाही कोरडा बर्फ व इथर यांच्या मिश्रणाने द्रवरूप देता येत नव्हते. ते होते प्लॉरिन, आरगॉन, निऑन व हेलियम.



कोरडे वा क्लोरोसिनचा द्रवीकरणाचा प्रयोग

थॉमस अँड्रयूज (१८१३-१८८५) या आयरिश शास्त्रज्ञाने या वायूंना द्रवरूप देण्यातील अडचणी १८६९ साली स्पष्ट केल्या. त्याला असे आढळले, की वायूचे तापमान जितके अधिक असेल, तितकाच त्याला द्रवरूप देण्यासाठी अधिक दबाव आवश्यक असतो; व आवश्यक असणारा दबाव तापमानापेक्षा अधिक गतीने वाढतो. एका विशिष्ट 'क्रिटिकल तापमाना'नंतर दबाव कितीही वाढवला, तरी वायूचे द्रवात रूपांतर होत नाही. ज्या आठ वायूंचे द्रवात रूपांतर करता येत नव्हते, त्यांचे 'क्रिटिकल तापमान' १६३ अंश के.च्या खाली होते. म्हणून द्रवरूप देण्यासाठी त्यांना कोरडा बर्फ व इथर यांच्या मिश्रणाने होते त्यापेक्षाही अधिक थंड बनवणे भाग होते.

तथापि, १८५२ साली लॉर्ड केल्विन (तेव्हा तो विल्यम थॉमसनच होता) व त्याचा एक मित्र, इंग्लिश शास्त्रज्ञ जेम्स प्रेस्कॉट जूल (१८१८-१८६९) यांनी असे दाखवून दिले, की द्रवाचे वायूत रूपांतर करणे हा तापमान कमी करण्याचा एकमेव मार्ग नाही.

एखाद्या वायूवर दबाव देऊन तो एका लहानशा कुपीत बंदिस्त केला व त्याला शक्य तेवढे थंड केले अशी कल्पना करा. दबावाखालील हा वायू जर प्रसरण पावू दिला तर त्यालादेखील ऊर्जा लागते व ती त्या वायूतूनच घेतली जाते. याने तापमान घटकून कमी होते.

याला 'जूल-थॉमसन परिणाम' (जूल-थॉमसन इफेक्ट) म्हणतात.

१८७७ साली लुई पॉल काव्यते (१८३२-१९१३) या फ्रेंच पदार्थविज्ञानशास्त्रज्ञाने प्राणवायू शक्य तितक्या दबावाखाली आपला. मग तो दबावाखालील प्राणवायू शक्य तितक्या कमी तापमानाला आणला व त्यानंतर त्याचे प्रसरण होऊ दिले. त्याचे तापमान कमी झाले व अखेर सूक्ष्म अशा बिंदूचे एक प्रकारचे द्रव प्राणवायूचे धुके त्याला मिळवता आले. याच प्रकारे नायट्रोजन व कार्बन

मोनॉक्साइडचेही धेंब त्याला द्रवरूपात मिळवता आले.

या तंत्रात आपखी सुधारणा करण्यात आली व १८८३ सालापर्यंत शास्त्रज्ञ मोठ्या प्रमाणावर द्रवरूप वायू मिळवू लागले. १२ वर्षांनंतर कार्ल फॉन लिंडे (१८४२-१९३४) या जर्मन रसायनशास्त्रज्ञाने प्राणवायू व नायट्रोजन यांच्या मिश्रणाने बनलेली हवा मोठ्या प्रमाणावर व इतक्या स्वस्त किमतीत द्रवरूप बनवण्यास सुरुवात केली, की उद्योगधंद्यातदेखील तिचा वापर करणे परवडू लागले.

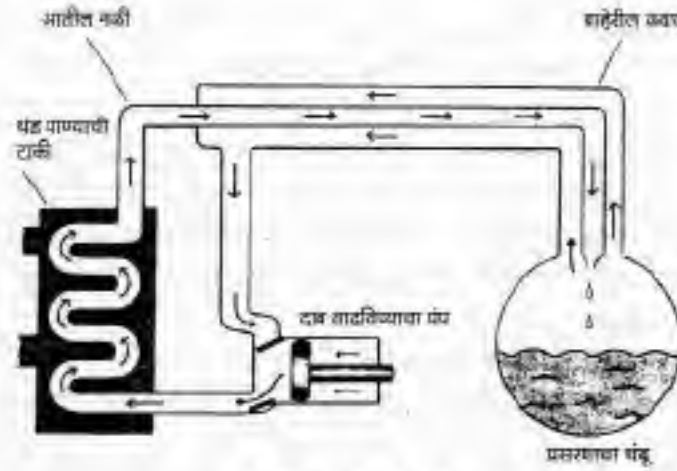
१८९५ सालापर्यंत आठ कठीण वायूपैकी पाच वायूंना द्रवरूप देण्यात यश आले. हे वायू द्रवरूप होण्याची तापमाने खाली दिली आहेत.

प्राणवायू	९०.१७ अंश के. - १८२.९८ अंश सेल्शियस
आरगॉन	८७.२८ अंश के. - १८५.८७ अंश सेल्शियस
फ्लोरीन	८५.०१ अंश के. - १८८.१४ अंश सेल्शियस
कार्बन मोनॉक्साइड	८१.७० अंश के. - १९९.४५ अंश सेल्शियस
नायट्रोजन	७७.३५ अंश के. - १९५.८० अंश सेल्शियस

यात शास्त्रज्ञांना 'केवल शून्या' पासून ७७ अंशापर्यंतचे तापमान मिळवण्यात यश आले होते; पण तरीही निऑन, हायड्रोजन व हेलियम हे वायू द्रवरूपात मिळवण्यात त्यांना यश आले नव्हते. या तीन वायूंवर जूल-थॉमसन परिणामाचा काहीच प्रभाव पडत नव्हता.

दरम्यान, १८७३ साली योहान डिडेरिक वॉन डेर वॉल्स (१८३७-१९२३) या डच शास्त्रज्ञाने वायूंचा अतिशय काळजीपूर्वक अभ्यास केला व त्याने यातील अडचण स्पष्ट केली. त्याला मिळालेल्या निष्कर्षांवरून, या तीन वायूंसाठी जूल-थॉमसन परिणामाचा प्रभाव एका विशिष्ट तापमानाच्या खाली गेल्यावाच दिसले हे स्पष्ट झाले.

बहुतेक सर्व वायूसाठी जूल-थॉमसन परिणाम दिसण्यासाठी आवश्यक असणारे तापमान बरेच उच्च होते. नेहमीच्या तापमानात



हवेच्या द्रवीकरणाचे यंत्र

कोणताही वायू थंड होण्यासाठी तो उपयोगी होता.

हायड्रोजन वायूवर मात्र जूल-थॉम्सन परिणाम दिसण्यासाठी तापमान 190 अंश के. (-123 अंश से.) पेक्षाही कमी असावे लागेल. याचा अर्थ, अंटार्क्टिकावरील हिवाळ्यातील सर्वात थंड तापमानापेक्षाही कमी तापमानापर्यंत हायड्रोजन प्रथम थंड करता लागेल व त्यानंतर तो आणखी थंड करून मगच त्याचे प्रसरण होऊ द्यावे लागेल. जेम्स द्यूअर ($1842-1923$) या स्कॉटिश रसायनशास्त्रज्ञाने प्रथमच हे विचारात घेतले.

त्याने 96 अंश के. (-196 अंश से.) या तापमानाला मोठ्या प्रमाणावर द्रवरूप नायट्रोजन मिळवण्यास सुरुवात केली. हायड्रोजन वायूसाठी जूल-थॉम्सन प्रभाव दिसण्यासाठी आवश्यक असणाऱ्या तापमानापेक्षा हे तापमान खूपच कमी होते. त्यानंतर हायड्रोजन वायू त्याने एका जाडजूड कुपीत ठासून भरला व ती कुपी द्रवरूप नायट्रोजनमध्ये बुडवली.



जेम्स द्यूअर

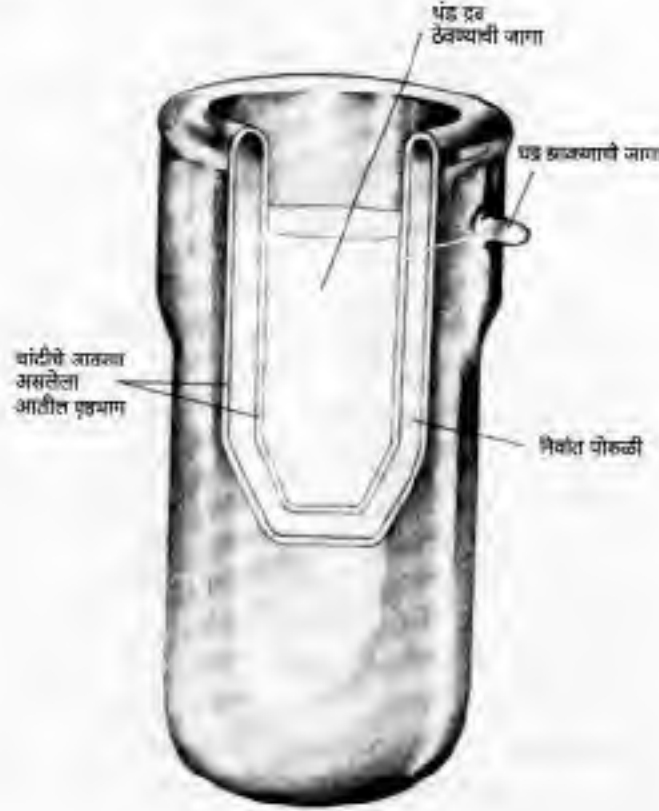
ठासून भरलेला हायड्रोजन द्रवरूप नायट्रोजनइतका थंड झाल्यावर मगच त्याने त्याचे प्रसरण होऊ दिले. प्रसरणामुळे तो आणखी थंड झाला व 1895 साली त्याला अखेर द्रवरूप हायड्रोजन मिळाला.

20.38 अंश के. (-242.96 अंश से.) या तापमानाला हायड्रोजन द्रवरूप होतो. द्रवरूप हायड्रोजन मिळवण्याच्या तंत्रानेच द्रवरूप निऑनही तयार करता आला, कारण निऑन हायड्रोजनपेक्षा किंचित अधिक म्हणजे 27.04 अंश के. (-248.90 अंश से.) या तापमानाला द्रवरूप धारण करतो.

अत्यंत थंड द्रवांचे वायूत रूपांतर होऊन ते चटकन नाहीसे होऊ नयेत यासाठी द्यूअरने एक मार्ग शोधून काढला होता. त्यासाठी त्याने दुहेरी भिंतीची किंवा आवरणाची भांडी तयार केली. या दोन भिंतींमध्ये निर्वात पोकळी होती.

कोणत्याही भांड्याच्या द्रव्यातून उष्णता आत किंवा बाहेर

जाणाऱच. पण या दुहेरी आवरणांच्या मध्ये काहीच नसल्याने उष्णता त्यातून बाहेर पडूच शकत नव्हती. हवेच्या प्रवाहानेदेखील उष्णता वाहून नेली जाऊ शकते; परंतु या दोन आवरणांच्या मध्ये हवादेखील नव्हती.



दूअर फ्लास्कचा उभा छेद

अखेर उष्णता किरणोत्सर्गाने मूळम लहरी निर्माण करू शकते व त्या निर्वात पोक्ळीतूनही प्रवास करू शकतात; परंतु या भांड्याच्या भिंतींचा पृष्ठभाग चमकदार गुळगुळीत धातूचा बनवून त्याने तसे होणार नाही याचीही काळजी घेतली. या धातूमुळे बहुतेक सर्व किरणोत्सर्ग परावर्तित होऊन तो बाहेर पडू शकला नाही. याचा अर्थ, जवळजवळ काहीच उष्णता या भांड्यातून बाहेर पडत नसे.

थंड द्रव जर अशा भांड्यात ठेवले तर इतकी कमी उष्णता त्यात येऊ शके, की त्यामुळे ते द्रव बराच वेळपर्यंत थंड राहू शकत असे व काही थोडेच वायुरूप बनून नाहीसे होत असे. अशा भांड्याला 'दूअर फ्लास्क' असे नाव आहे.

लोक आता अशी भांडी घरातही वापरतात व त्यांना आपण 'थर्मॉस फ्लास्क' असे म्हणतो. बूच व त्यावर झाकण लावण्याच्या या बाटल्यांत पाणी अथवा इतर शीतपेये थंड राहतात. तसेच कॉफी किंवा इतर गरम पेये गरमही ठेवता येतात.

दूअरने काही द्रवरूप हायड्रोजन अशा एका भांड्यात ठेवला व त्याचा वायू बनू दिला. यात द्रवरूप हायड्रोजनमधील आणखी काही उष्णता वापरली गेली, कारण बाहेरून यात उष्णता येऊच शकत नव्हती. वायुरूप होताना द्रवरूप हायड्रोजन आणखीही थंड झाला. १८९९ साली दूअरला हायड्रोजन गोठवून पन स्वरूप देण्यात यश आले. १३.९५ अंश के. (-१५९.२० अंश से.) या तापमानाला हायड्रोजन गोठतो.

तरीही 'केवल शून्या'च्या १४ अंशापर्यंत तापमान पोचूनदेखील हेलियम मात्र वायुरूपातच राहात होता. विलाच्या शतकाच्या सुरुवातीला हा एकच वायू द्रवरूपात मिलावता आला नव्हता.

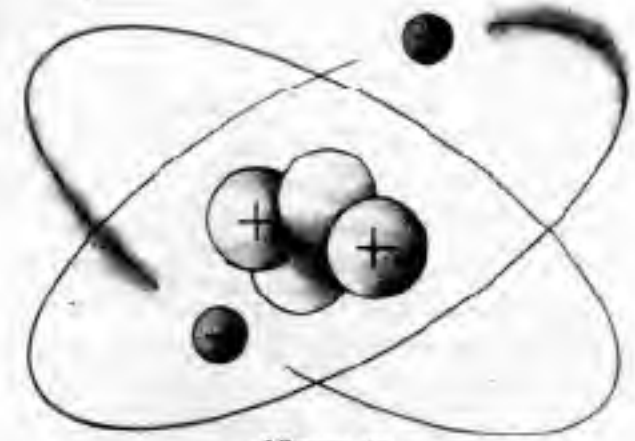
४ | हेलियमशी झटापट

हेलियमचे अणू हे सर्वात स्थिर स्वरूपातील अणू आहेत. हेलियमचा अणू इतका स्थिर असतो, की त्यात काही जरी बदल केला तरी तो अस्थिर बनतो. याच कारणामुळे त्याचा इतर अणूंशी संयोग होत नाही. हेलियमच्या इतर अणूंशीदेखील त्याचा संयोग होत नाही, म्हणून हेलियम हा वायू एकेकट्या अणूंचाच बनलेला असतो. याउलट हायड्रोजन, प्राणवायू, नायट्रोजन व फ्लॉरिन यांच्या अणूंच्या नेहमीच जोड्या असतात. म्हणूनच आण हायड्रोजन, प्राणवायू, नायट्रोजन व फ्लॉरिन यांच्या रेणूंप्रमाणेच बसतो.

हेलियमचे अणू इतके स्थिर असतात, की तापमान अत्यंत थंड असल्याशिवाय ते द्रव बनण्यासाठी पुरेसा वेळ एकत्रही राहत नाहीत. अशा आत्यंतिक थंडीत हेलियमचे अणू क्वचितच हालचाल करतात.

हेके कॅमेरलिंग ओनेस (१८५३-१९२६) या डच शास्त्रज्ञाने हेलियमच्या द्रवीकरणाच्या समस्येवर संशोधन करण्याचे ठरवले. शास्त्रज्ञांना फक्त अत्यंत कमी तापमानात काम करता येईल अशी एक विशेष प्रयोगशाळा त्याने तयार करून घेतली. आतापर्यंतची अशा प्रकारची ही पहिलीच प्रयोगशाळा होती.

कॅमेरलिंग ओनेसने हेलियम दबावाखाली ठासून घेतला (कॉम्प्रेस) व द्रव हायड्रोजनमध्ये त्याला थंड होऊ दिले. एकदा हेलियम द्रव हायड्रोजनइतका थंड झाला, की जूल-थॉम्सन परिणामाचा प्रभाव दिसू लागेल. नंतर त्याने अत्यंत थंड झालेला दबावाखालील हेलियम प्रसरण होऊ दिला, त्यामुळे तो अधिकच थंड झाला. अखेर १९०८ साली त्याने द्रवरूप हेलियम तयार केला. हा शेवटचा



हेलियमचा अणू

वायूही आता द्रवरूपात मिळाला होता.

फक्त ४.२१ अंश के. (-२६८.९४ अंश से.) या तापमानाला हेलियम द्रवरूप होतो.

या अतिशय थंड द्रवरूप हेलियमची चटकन वाफ होऊन जाऊ नये म्हणून उष्णता त्यापासून शक्य तेवढी दूरच ठेवायला हवी. म्हणून द्रवरूप हेलियमचे भांडे एका त्याहून मोठ्या अशा द्रवरूप हायड्रोजनच्या भांड्यात ठेवण्यात आले व ते भांडेदेखील त्याहून मोठ्या द्रवरूप हवा असणाऱ्या भांड्यात ठेवण्यात आले.

या प्रकारे कॅमेरलिंग ओनेसने प्रयोग करून पाहण्यासाठी पुरेसा वेळ द्रवरूप हेलियम सांभाळून ठेवला. त्याला आणखी एक गोष्ट करून पाहण्याची होती ती म्हणजे, हेलियम गोठवून घन हेलियम मिळवायचा होता. धोड्याशा हेलियमची चटकन वाफ होण्यासाठी ते त्याने आणखी थंड होऊ दिले. अशा प्रकारे ते तापमान त्याने ०.८३ अंश के. (-२७२.३२ अंश से.) इतके खाली आणले, पण तरीही हेलियम द्रवरूपच होता. २१ फेब्रुवारी १९२६



हेके कॅमेरलिंग ओनेस

ला जेव्हा कॅमेरलिंग ओनेस मरण पावता तोपर्यंत त्याला घन हेलियम काही मिळवता आता नव्हता.

केवळ तापमान कमी करून हेलियम गोठवता येत नाही हे आता आपल्याला माहीत आहे. 'केवल शून्या'लाही त्यात काही थोडीशी उष्णता शिल्लक राहतेच. ही ऊर्जा काढून टाकता येत नाही, म्हणून 'केवल शून्य' हे आपल्याला मिळू शकणारे न्यूनतम तापमान आहे. न काढता येण्याजोगी जी काही किंचितशी उष्णता शिल्लक राहते, ती हेलियमच्या अणूंची रचना घन बनण्यापासून रोखण्यास पुरेशी ठरते.

कॅमेरलिंग ओनेसच्या मृत्यूनंतर काही महिन्यांनी हॅन्ड्रिक केसम (१८७६-१९५६) या त्याचाच विद्यार्थी असणाऱ्या डच शास्त्रज्ञाने, फॅरडेने शतकापूर्वी क्लोरिन वायूच्या साहाय्याने जे केले होते तेच, म्हणजे उच्च दबाव व कमी तापमान अशा दोन्हीचा एकत्रितपणे

उपयोग करून पाहायचे ठरवले.

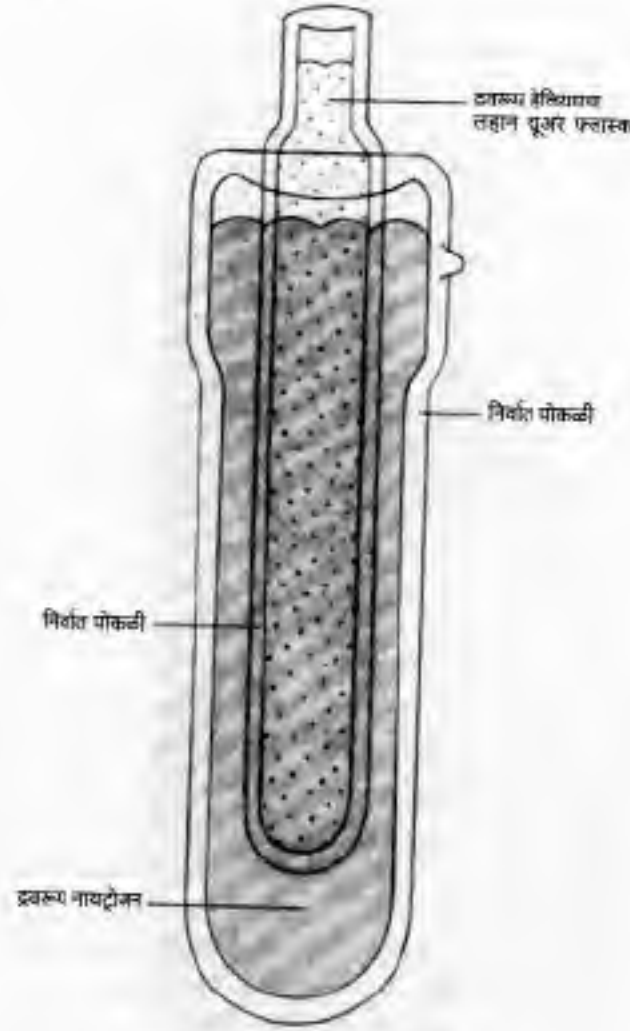
याचा उपयोग झाला. केसमने जेव्हा द्रव हेलियम वातावरणाच्या २५ या दबावाखाली ठेवला, तेव्हा १.० अंश के. या तापमानाला त्याला घन हेलियम मिळाला. तसेच द्रव हेलियमचे तापमान ०.४ अंश के. पर्यंत खाली आणण्यातही त्याला यश आले.

माहीत असलेली सर्व द्रव्ये शास्त्रज्ञांना जरी आता द्रवात किंवा घन स्वरूपात रूपांतरित करता येत असली, तरीही त्यांचे समाधान झाले नव्हते. अखेरच्या मर्यादेपर्यंत पोचण्याचे आव्हान - म्हणजे उत्तर किंवा दक्षिण ध्रुव, अथवा एव्हरेस्ट शिखर, नाहीतर रॉकेटच्या साहाय्याने चंद्रावर जाणे यासारखेच काहीतरी - अद्याप शिल्लक होतेच.

या बाबतीत मात्र ती मर्यादा गाठणे अशक्यप्रायच दिसत होते. अखेर घन स्वरूपातील हेलियम मिळवण्यापूर्वी दोन वर्षे, म्हणजे १९०६ साली वॉल्थर हेर्मान नर्नस्ट (१८६४-१९४१) या जर्मन शास्त्रज्ञाने असे दाखवून दिले होते, की 'केवल शून्या'च्या जवळ जाता येते; परंतु नेमके तेथे पोचता मात्र येत नाही.

ज्या तापमानाला हेलियम द्रव स्वरूपात मिळतो त्या ४ अंश के. या तापमानाला सुरुवात केली आहे अशी कल्पना करा. यातील अर्धी ऊर्जा काढून टाकून २ अंश के. तापमान मिळण्यासाठी काही विशेष प्रयत्न करावा लागेल. तेवढाच प्रयत्न करून शिल्लक ऊर्जेपैकी अर्धी ऊर्जा काढून १ अंश के. तापमान मिळवता येईल. परत एकदा तेवढाच प्रयत्न करून हे तापमान ०.५ अंश के. इतके खाली आणता येईल, त्यानंतर ते ०.२५ अंश के. करता येईल. अधिकाधिक प्रयत्नाने तापमान लहानशा पायरी पायरीने कमी कमी होईल, पण ० अंश के. पर्यंत कधीच पोचता येणार नाही.

तरीही 'केवल शून्या'च्या शक्य तितके जवळ पोचण्याचा शास्त्रज्ञांचा प्रयत्न चालूच होता व वाफ बनवण्याने देखील त्यांना ०.४



घुंअरच्या दुहेरी भांड्यात उष्णता रोखली जाते.

अंश के. च्या खालचे तापमान मिळत नव्हते.

१९२६ साली पीटर जोसेफ विल्हेम डीबी (१८८४-१९६६) या डच शास्त्रज्ञाला एक कल्पना सुचली. काही रेणू चुंबकीय आकर्षणासंबंधी संवेदनशील असतात. चुंबकामुळे सर्व रेणू एकाच दिशेत ओळीत ठेवता येतील. चुंबकाच्या प्रभावाखालील हे द्रव्य द्रव हेलियमच्या साहाय्याने ०.४ अंश के. पर्यंत, म्हणजे वाफ बनू देण्याने शक्य असलेल्या न्यूनतम तापमानापर्यंत थंड केले अशी कल्पना करा व त्यानंतर चुंबक काढून घ्या.

चुंबकाच्या प्रभावाखालील सर्व रेणू आता निरनिराळ्या दिशा दर्शवतील. पण अशा तऱ्हेने रंग मोडण्यासाठी त्यांना ऊर्जा लागते. ती मिळवण्याची एकच शक्यता आहे आणि ती म्हणजे त्यांच्या भोवतीचे द्रव हेलियम. याचाच अर्थ, द्रव हेलियमचे तापमान आपखी कमी होईल.

१९३३ साली विल्यम फ्रॅन्सिस जिओके (१८९५-१९८२) या अमेरिकन शास्त्रज्ञाने या पद्धतीने प्रयत्न केला व तो यशस्वी ठरला. द्रव हेलियमचे तापमान त्याने ०.२५ अंश के. पर्यंत खाली आणले, म्हणजे 'केवळ शून्या'च्या वर फक्त पाव अंश.

हे ऐकल्यावर डच शास्त्रज्ञांनीदेखील चुंबकीय प्रभावाखालील रेणूंचा वापर केला व वर्षअखेरीपर्यंत त्यांना तापमान ०.०१८५ अंश के. पर्यंत म्हणजे 'केवळ शून्या'च्यावर फक्त १/५४ अंश इतके खाली आणता आले.

अत्यंत थंड हेलियममधून उरली-नुरली उष्णता काढून घेण्यासाठी इतर उपाय वापरूनही प्रयत्न करण्यात आले. आता ०.००००२ अंश के. म्हणजे 'केवळ शून्या'च्या वर फक्त १/५०,००० अंश इतके तापमान मिळवण्यात आले आहे; परंतु 'केवळ शून्या'पर्यंत मात्र कोणालाही पोचता आले नाही आणि बहुधा ते येणारही नाही.



२० व्या शतकाच्या सुरुवातीच्या काळातील कमी तापमानाची प्रयोगशाळा.

इतक्या कमी तापमानाला पोचणे वैशिष्ट्यपूर्णच होते, कारण यातून शास्त्रज्ञांना पूर्वी माहीत नसणाऱ्या अनेक गोष्टी जाणून घेता आल्या. उदाहरणार्थ, १९२८ साली केसमला असा शोध लागला, की २.२ अंश के. या तापमानाला द्रवांचे सर्व गुणधर्म असणाऱ्या नेहमीच्या 'हेलियम१' या द्रवाऐवजी हेलियम एका नव्या प्रकारच्या 'हेलियम२' मध्ये रूपांतरित होतो व त्याचे गुणधर्म इतर कोणत्याही द्रवापेक्षा निराळेच असतात.

उदाहरणार्थ, 'हेलियम२' हा एक 'अतिद्रव' (सुपर फ्लुइड) पदार्थ होता व सूक्ष्मातील सूक्ष्म छिद्रातून तो काहीही अडथळा न येता आरपार जात असे. हवाबंद डबे 'हेलियम२' साठी पुरेसे बंद नव्हते.

'हेलियम२' मधून उष्णता पूर्णत्वाने वाहून नेली जाते. त्याला किंचित उष्णता जरी दिली तरी ती सर्व द्रवात ताबडतोब पसरली. उष्णतेची केंद्रे अजिबात निर्माण झाली नाहीत, म्हणून 'हेलियम२' मध्ये बुडबुडे येऊन ते उकळले नाही, तर अणूंचा सर्वात बरचा धर सोतला गेला.

हेलियम हा 'हेलियम४' व 'हेलियम३' या दोन प्रकारच्या अणूंचा बनलेला असतो. 'हेलियम४' हा सर्वसामान्यपणे आढळणारा अणू आहे. हेलियमच्या दहा तक्ष अणूंपैकी एक अणू 'हेलियम३' या प्रकारचा असतो.

'हेलियम४' हाच ४.२९ अंश के. तापमानाला द्रवरूप होतो व २.२ अंश के. तापमानाला त्याचे 'हेलियम२' मध्ये रूपांतर होते.

१९४० च्या दशकात शास्त्रज्ञांना क्वचित दिसणारा 'हेलियम३' चा अणू वेगळा करण्यात यश आले व सर्व अणू 'हेलियम३' चे असणारा वायू त्यांना बनवता आला.

'हेलियम३' च्या अणूंचे वजन 'हेलियम४' च्या अणूंच्या तुलनेत तीन-चतुर्थांश इतकेच असते. 'हेलियम४' च्या अणूंपेक्षाही



द्रवरूप हेलियमची हलविण्याजोगी टाकी

'हेलियम३' च्या अणूंना एकमेकांपासून दूर उडून जाणे अधिक सोपे होते. त्याचा अर्थ, 'हेलियम३' ला द्रवरूप होण्यासाठी अधिकच थंड तापमानाची आवश्यकता भासणार.

१९४९ साली शास्त्रज्ञांना असे आढळले, की 'हेलियम३' ३.२ अंश के. तापमानाला द्रवरूप होतो, म्हणजे 'हेलियम४' पेक्षा एक संपूर्ण अंश कमी तापमानाला.

'हेलियम३' चे 'हेलियम२' मध्ये रूपांतर होण्याची काहीच चिन्हे दिसली नाहीत. त्याचे तापमान अचूक अधिक कमी करून



हेलियम २ - अतिद्रव भांड्यातून बाहेर पडतो.

अशी शक्यता पडताळून पाहण्यात आली. १९७२ साली 'हेलियम३' चे ०.००२५ अंश के, म्हणजे १/४०० अंश 'केवळ शून्या'च्या वर, या तापमानाला 'हेलियम२' चे द्रवात रूपांतर झाले.

अशा प्रकारचे विचित्र द्रव बनणारी 'हेलियम४' व 'हेलियम३' ही केवळ दोनच वैशिष्ट्यपूर्ण द्रव्ये आहेत. इतर कोणतीच द्रव्ये इतक्या कमी तापमानाला द्रवरूपात राहत नाहीत.

पीटर लिओनिडोविच केपित्सा (१८९४-) सारख्या रशियन शास्त्रज्ञांनी अणूंच्या गुणधर्म व रचनेविषयी अधिक माहिती प्राप्त करून घेण्यासाठी या विचित्र द्रव्याचा उत्सुकतेने अभ्यास केला.

५ | अतिवाहकता

द्रव हेलियमचा अभ्यास करताना असा एक शोध लागला, की त्याचा दररोजच्या जीवनावर फार मोठा महत्त्वाचा प्रभाव पडेल असे वाटले. त्यासंबंधी माहिती आता घेऊ या.

एकदा द्रवरूप हेलियम तयार केल्यावर प्रथमच शास्त्रज्ञांना निरनिराळ्या द्रव्यांचा अत्यंत शीत तापमानाच्या अवस्थेत अभ्यास करता आला.

उदाहरणार्थ, तारेतून जेव्हा विद्युत्प्रवाह जातो त्या वेळी त्याला काहीसा प्रतिरोध (रेझिस्टन्स) होतो. तारेतील अणूंना ढकलून त्याला आपला प्रवास करावा लागतो. यासाठी काही ऊर्जा वापरावी लागते व तिचे रूपांतर उष्णतेत होते. परिणामी, तार गरम होते व काही वीजच तारेतून वाहून नेली जाते.

सुरुवातीलाच जर तार थंड केली, तर त्यातील अणूंच्या हालचालीचा वेग कमी होतो व त्यांची विद्युत्प्रवाहातील लुठबुठदेखील कमी होते. दुसऱ्या शब्दात सांगायचे तर, प्रतिरोध कमी होतो. तारेचे तापमान जसजसे कमी होईल तसतसा प्रतिरोध कमी कमी होत जाईल व अखेर 'केवळ शून्य' तापमानाला प्रतिरोधही शून्य होईल, अशीच बहुतेक शास्त्रज्ञांची कल्पना होती.

द्रवरूप हायड्रोजन मिळेपर्यंत तापमान कमी करताना हे खरेच असल्याचे आढळून आले. १९११ साली, तीन वर्षांपूर्वी प्रथम द्रवरूप हेलियम मिळवणाऱ्या कॅमेरलिंग ओनेसने द्रवरूप हेलियमचे तापमान वापरून विजेच्या प्रतिरोधासंबंधीचा पडताळा घेण्याचा प्रयत्न करण्याचे ठरवले. यात काही आश्चर्यकारक निष्कर्ष निघण्याची त्याची अपेक्षा नव्हती; पण त्याला आश्चर्याचा एक मोठाच धक्का बसला.

कॅमेरलिंग ओनेस गोठलेल्या पाण्याचा अभ्यास करत होता. यातून विद्युत्प्रवाह जाताना त्याला जगदी धोडाच प्रतिरोध होतो व द्रवरूप हायड्रोजनच्या तापमानाला तर तो आणखीच कमी होतो. ४.२१ अंश के. या हेतियम द्रवरूप होण्याच्या तापमानाला पाण्याचा प्रतिरोध शास्त्रज्ञांना अपेक्षा होती तसाच होता.

परंतु कॅमेरलिंग ओनेसने हे तापमान आणखी कमी केल्यावर, ४.१२ अंश के. या तापमानाला प्रतिरोध अचानक शून्य झाला. त्याखालील तापमानाला पाण्यातून विद्युत्प्रवाह पूर्णपणे (परफेक्टली) जाऊ लागला. थोड्याही विजेचे उष्णतेत रूपांतर झाले नाही कारण प्रतिरोधच नव्हता. या परिस्थितीत विजेचे वहन पूर्णत्वाने होत असल्याने या गुणधर्माला 'सुपरकंडक्टिव्हिटी' (अतिवाहकता) असे नाव देण्यात आले.

'केवल शून्या'वरील कोणत्याही तापमानाला शून्य प्रतिरोध असेल अशी शास्त्रज्ञांना अपेक्षाच नव्हती. जॉन बार्डीन (१९०८-) या अमेरिकन शास्त्रज्ञाने अखेर १९७३ साली याचे घटण्याजोगे स्पष्टीकरण दिले. अर्थात, स्पष्टीकरण मिळो अथवा न मिळो, तसेच हे गूढ उलगडले गेले अथवा नाही, तरीही इतर धातूंचे गुणधर्मदेखील असेच बदलत होते की फक्त पाण्यालाच हे लागू होते, हे जाणून घेण्याची शास्त्रज्ञांना उत्कंठा होती.

इतर धातूंतही अशीच अतिवाहकता होती, असा त्यांना लवकरच शोध लागला. केवळ काही अपवादात्मक धातूंतच हा गुणधर्म नव्हता; परंतु त्या धातूंचे पुरेशा कमी तापमानात परीक्षण करण्यात आले नव्हते, हे त्यामागील कारण असण्याची शक्यता होती.

उदाहरणार्थ, हॅफनियम हा धातू ०.३५ अंश के. या किंवा त्याहूनही कमी तापमानाला अतिवाहक बनतो. केवळ काहीच धातू पाण्याहून अधिक तापमानाला सुपरकंडक्टिव्ह बनतात. उदाहरणार्थ, जस्त ७.२२ अंश के. तापमानाला अतिवाहक बनतो. द्रवरूप

हेलियममध्ये ठेवलेल्या जस्ताच्या बेटोळ्यात सोडलेला विद्युत्प्रवाह अडीच वर्षांपर्यंत त्यात प्रवाही राहिला व त्या काळात त्यातील विद्युत जराही कमी झाले नाही.

सर्वात अधिक तापमानात अतिवाहक बनणारा धातू म्हणजे टेक्निशियम. हा किरणोत्सर्गी धातू निसर्गात मिळत नाही; पण तो प्रयोगशाळेत बनवता येतो. तो ११.२ अंश के.ला अतिवाहक होतो.

अतिवाहकतेचे अनेक महत्त्वाचे उपयोग असू शकतात. न्या ठिकाणी विद्युत्निर्मिती केली जाते तेथून ती वापरासाठी घरे, ऑफिस, कारखाने वगैरे ठिकाणी नेली जाते. पापैकी सुमारे १५ टक्के वीज वहन होताना उष्णतेच्या रूपात वाया जाते. म्हणजेच अब्जावधी रुपयांचे नुकसान होते.

अतिवाहक तारांतून विजेचे वहन करता येईल अशी कल्पना करा. यात काहीच वीज वाया जाणार नाही, म्हणजेच अब्जावधी रुपयांची बचत होईल. परंतु सर्वाधिक तापमानाला अतिवाहक बनणारा धातू ११.२ अंश के. किंवा त्याहून कमी तापमानाला अतिवाहक बनतो. म्हणजे सर्व तारा द्रवरूप हेलियमच्या आवरणात ठेवाव्या लागतील. इतर काहीच इतके थंड नसते. त्याखालोखालचे थंड द्रव म्हणजे द्रवरूप हायड्रोजन, तो १४ अंश के. तापमानाला गोठतो आणि कायम त्याचे बाष्पीभवन होऊ दिले तर तो २० अंश के. ला गोठेल.

तथापि, हेतियम दुर्मिळ आहे व त्याला द्रवरूपात ठेवणे अतिशय कठीण आहे. सर्व तारा अतिवाहक ठेवण्यासाठी जो प्रचंड खर्च होईल तो काही त्यातून होणाऱ्या बचतीतून भरून निघणार नाही.

म्हणजे अधिक तापमानाला अतिवाहक असणाऱ्या कशाची तरी आपल्याला आवश्यकता आहे. शुद्ध स्वरूपातील कोणत्याच



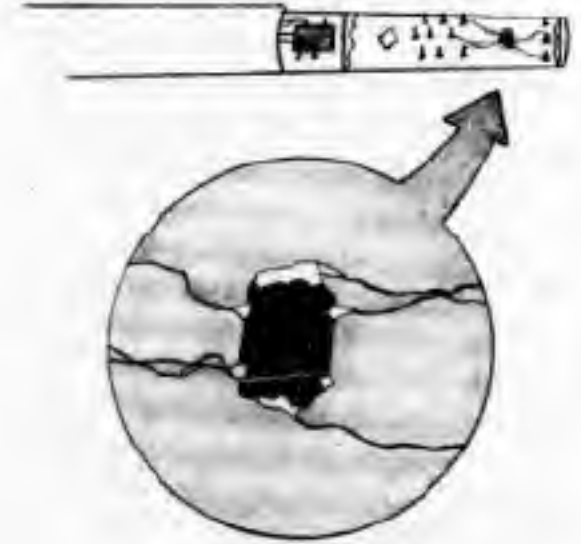
अतिवाहकतेचा परीक्षणासाठी बनविलेली यंत्रणा.

धातूचा तसा उपयोग नसल्याने कदाचित निरनिराळ्या धातूंचा बनलेला एखादा मिश्रधातू यासाठी उपयोगी ठरू शकेल.

शास्त्रज्ञांनी मग शक्य त्या सर्व मिश्रधातूंच्या चाचण्या करण्यास सुरुवात केली. त्यापैकी सुमारे १,४०० मिश्रधातू कमी तापमानाला अतिवाहक बनत होते; परंतु प्रत्येक वेळी हे तापमान प्रत्यक्षात वापरासाठी फारच कमी म्हणजे गैरसोयीचेच होते.

अखेर १९६८ साली द्रवरूप हायड्रोजनच्या तापमानाला अतिवाहक बनणाऱ्या एका मिश्रधातूचा शोध लागला. निओबियम, ऑर्ल्युमिनम व जर्मेनियमपासून बनलेला मिश्रधातू २१ अंश के. या तापमानाला अतिवाहक बनत असल्याचे जाळवून आले. १९८४ साली निओबियम व जर्मेनियमच्या मिश्रधातूने २४ अंश के.ची पातळी गाठली.

द्रवरूप हायड्रोजन द्रवरूप हेलियमइतका दुर्मिळ नाही व तो द्रवरूप ठेवणे हेलियमइतके कठीणही नाही; पण तरी ते सोपेही



नाही. शिवाय द्रवरूप हेलियम अत्यंत सुरक्षित तरी आहे, तर द्रवरूप हायड्रोजन जळूही शकतो. त्यातून निघणाऱ्या हायड्रोजनच्या वाफांचा स्फोटही होऊ शकतो. विजेचे वहन करण्यासाठी देशभर सर्वत्र द्रवरूप हायड्रोजनचा वापर करण्यासाठी होणारा खर्च तर अशक्य कोटींतीलच असेल, शिवाय त्यातून अनेक दुर्घटनाही घडू शकतील.

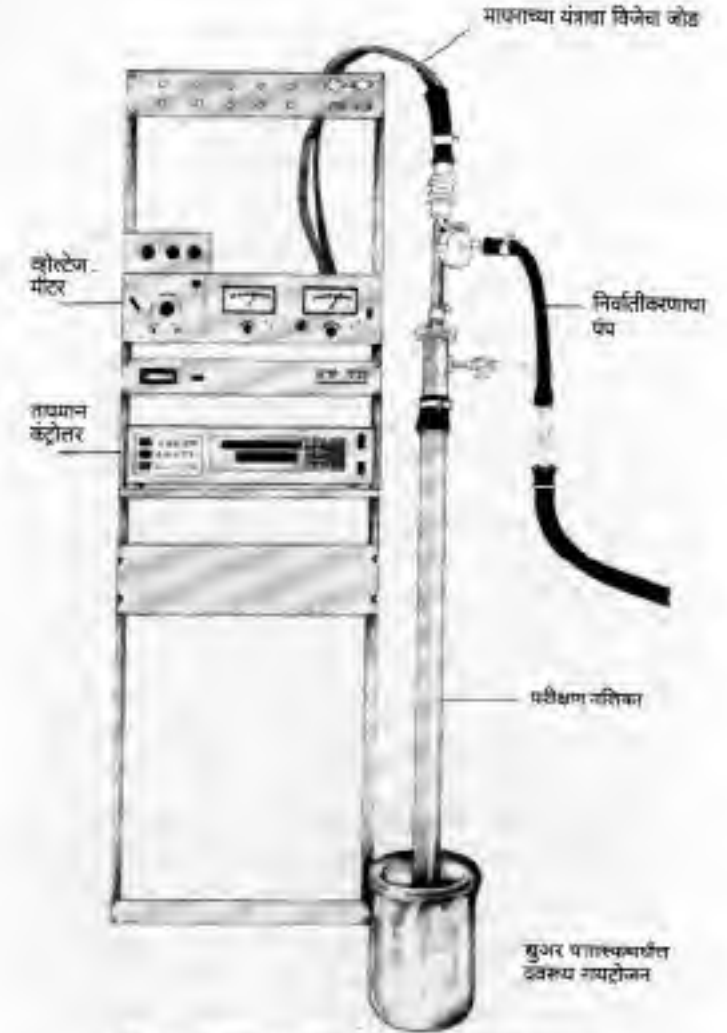
७५ वर्षांच्या काळात २४ अंश के. पेक्षा अधिक तापमानाला अतिवाहक बनणारे काहीच मिळाले नव्हते. ही परिस्थिती निराशाजनकच दिसत होती.

त्यानंतर मात्र मूळच्या अतिवाहकतेच्या शोधाइतकाच आणखी एक मोठा आश्चर्याचा धक्का बसला.

जर्मनीत शास्त्रज्ञांनी एक नवाच प्रयोग केला. विजेच्या वहनासाठी नेहमी वापरण्यात येणाऱ्या शुद्ध अधवा मिश्र धातूऐवजी त्यांनी धातू व प्राणवायू किंवा ऑक्साइडच्या मिश्रणांवर प्रयोग करण्यास सुरुवात केली. ही ऑक्साइडची मिश्रणे म्हणजे चिकण माती किंवा चिखलासारखे पदार्थ (सिरॅमिक) असतात. आपण चहा गगरे पितो त्या कपबशा व पेले सहसा याचेच बनवलेले असतात.

यासंबंधीची पहिली माहिती १९८६ सालाच्या उत्तरार्धात जाहीर झाली. लॅथनम, बेरियम व तांबे यांच्या ऑक्साइडचे मिश्रण २८ अंश के.ला अतिवाहक बनले होते, असे या वेळी सांगण्यात आले.

अर्थात, ही काही फार मोठी प्रगती नव्हती; पण लगोलग सर्वांनी सर्व प्रकारची सिरॅमिकी मिश्रणे वापरून प्रयोग करायला सुरुवात केली व काही सुधारणाही घडून आल्या. वर्षअखेरीपर्यंत, प्रचंड दबावाखाली ठेवल्यास एक प्रकारचे सिरॅमिक ४० अंश के. तापमानाला अतिवाहक बनत असल्याचे जाहीर करण्यात आले. मग आणखी एका प्रयोगशाळेत लगेच जाहीर केले, की एक सिरॅमिक दबावाखाली न ठेवता ३६ अंश के.ला अतिवाहक बनते.



अतिवाहक माध्यमांच्या परीक्षासाठी बनविलेली यंत्रणा

हे इथेच थांबले नाही. १९८७ साली १० अंश के.ला अतिवाहक बनणारे एक सिरॅमिक विकसित करण्यात आले. असे सिरॅमिक द्रवरूप नायट्रोजनच्या तापमानाला अतिवाहक बनेल. द्रवरूप नायट्रोजन द्रवरूप हायड्रोजनपेक्षा सहज मिळू शकतो. तो द्रवरूप ठेवणे सोपे आहे शिवाय तो जवळजवळ द्रवरूप हेलियमप्रमाणेच पूर्णतया सुरक्षित आहे.

हे शोधही येथेच थांबलेले नाहीत. मे १९८७ मध्ये अशी एक बातमी आली, की एक सिरॅमिक बहुधा २२५ अंश के. (-४८ अंश से.) ला अतिवाहक बनेल. याचा अर्थ, ते कोरड्या बर्फाच्या तापमानाला अतिवाहक बनेल.

अतिवाहकता जर २२५ अंश के.तापमानाला मिळू शकत असेल, तर मग ती नेहमीच्या तापमानाला का मिळू नये? आता शास्त्रज्ञांचे हे एक स्वप्न आहे : थंड न करतादेखीत वीजवहन होताना त्यातून अजिबात वीज बाया जाणार नाही असा एखादा पदार्थ शोधून काढायचा किंवा नेहमीच्या वातानुपूरनाच्या तापमानाला तरी त्यातून वीजवहन होताना वीज बाया जाणार नाही असा पदार्थ शोधून काढायचा.

अर्थात, इतक्या उच्च तापमानाला अतिवाहकता कशी काय मिळेल, हे शास्त्रज्ञ अद्याप सांगू शकत नाहीत. आतापर्यंत माहीत असलेल्या अतिवाहकतेसंबंधी बार्डीनने दिलेले स्पष्टीकरण या नव्या प्रकारच्या अतिवाहकतेला कदाचित लागू होणारही नाही; पण असा शोध जर लागला, तर त्याचे स्पष्टीकरण मिळण्यास कितीही वेळ लागला तरी फारसे बिघडणार नाही.

तथापि, यात प्रत्यक्षात अनेक अडचणी आहेत. बहुतेक वेळा विजेचे वहन तारांतून व फिल्ममधून केले जाते. या दोन्ही गोष्टी बळकट असतात व वाकवल्या तरी तुटत नाहीत. सिरॅमिक हे तुटणारे द्रव्य आहे. त्याच्या तारा व फिल्म बनवणे सोपे नाही; परंतु



सौर ऊर्जेची यंत्रणा

शास्त्रज्ञ या समस्येवर संशोधन करतच आहेत व लवकरच ही समस्या सोडवता येईल अशी त्यांना आशा आहे.

उच्च तापमानाला विजेचे परीपूर्ण वहन होण्याने आपल्या सर्वांना त्याचे काय फायदे मिळतील? दूरवरच्या अंतरापर्यंत विजेचे वहन करण्यात अद्भुताधी रुपयांची बचत होईल; पण तेवढा एकच फायदा नाही.

विजेचे वहन होताना बरीच वीज वाया जात असल्याने मोठ्या शहरात विजेची मोठी गरज असल्याने विद्युत्निर्मिती केंद्रे शहराजवळच ठेवण्याचा प्रयत्न केला जातो. उच्च तापमानाला अतिवाहकता मिळाल्यास विद्युत्निर्मिती केंद्रे दूर असली तरीही वीज वाया जाणार नाही.

विशेषतः अणुऊर्जा केंद्रांबाबत हे अधिक महत्वाचे आहे. बऱ्याच लोकांना अणुऊर्जा केंद्रांत अपघात होण्याच्या भीतीने ती शहराजवळ नसावीत असे वाटते. उच्च तापमानाला अतिवाहकता मिळाल्यास अशी ऊर्जा निर्मिती केंद्रे दूरवर वाळवंटात उभारता येतील व तरीही वहनात वीज वाया जाणार नाही.

काही विशेष प्रकारची यंत्रणा विकसित केल्यावर सूर्यप्रकाशाचा वापर करून त्यातून ऊर्जा निर्माण करता येईल अशी अपेक्षा आहे. अशी यंत्रणाही वाळवंटातच उभारावी लागेल. कारण अशा ठिकाणीच भरपूर सूर्यप्रकाश मिळतो. पण अशा ठिकाणांहून विजेचे वहन करण्यासाठी खूप खर्च येईल व शिवाय वीज वाया जाईल ती निराळीच; परंतु उच्च तापमानाला अतिवाहकता मिळाल्यास विजेची हानी होणार नाही.

आजकाल भविष्यातील वापरासाठी वीज साठवून ठेवता येत नाही. तारातून जाणारी वीज प्रतिरोधामुळे लवकरच नाहीशी होते. यामुळे विजेच्या गरजेप्रमाणे निर्मिती केंद्रांना ती कमी-अधिक



अतिवाहक चुंबकांच्या वापराने उचलली जाणारी रेल्वे

प्रमाणात निर्माण करावी लागते. वापरासंबंधीचे असे अंदाज बांधणे खूपच कठीण असते. काही वेळा अनपेक्षितरीत्या मागणी वाढल्यास निर्मिती केंद्रावर प्रचंड ताण येतो.

उच्च तापमानाला अतिवाहकता मिळाल्यास विद्युत्प्रवाह मंडलांतून फिरता ठेवता येईल व त्यात विजेची हानी होणार नाही. कमी वापराच्या वेळी तयार झालेली वीज मंडलांत साठवून ठेवता येईल व जादा मागणीच्या वेळी ती त्या त्या मंडलांकडे पाठवता

येईल. कार्यक्षमता वाढवण्याचा हा आपखी एक मार्ग आहे.

उच्च तापमानात अतिवाहकता मिळाल्यास संगणकांना त्याचा खूपच फायदा होईल. संगणक आता अधिकाधिक लहान आकाराचे बनवले जाऊ लागले आहेत. अतिशय लहान आकाराच्या 'चिप्स'वर अनेक तारा व मंडलांची गर्दी असते. या चिप्स जर आपखी लहान केल्या व त्यावर अधिक मंडले जवळ जवळ बसवली, तर त्या लहानशा जागेत बऱ्याचशा विजेचे रूपांतर उष्णतेत होईल व चिप्स वितळण्याचा धोका निर्माण होईल. पण उच्च तापमानात अतिवाहकता मिळाल्यास उष्णता निर्माण होणार नाही. चिप्स आपखी लहान बनवून त्यावर अधिक मंडलेही बसवता येतील. मग संगणक अधिक लहान, अधिक जतद, अधिक स्वस्त तर होतीलच; पण ते आतापेक्षा अधिक कामही करू शकतील.

बऱ्याच काळापासून विजेचा मोठा शक्तिशाली प्रवाह नेणाऱ्या रुळांवरून आगगाड्या किंवा तत्सम इतर वाहने नेण्याचा लोक विचार करत आहेत. या प्रवाहामुळे शक्तिशाली चुंबकीय क्षेत्र निर्माण होईल व त्यामुळे ही वाहने इंधनाचा लहानसा भाग इतकी रुळांपासून दूर उचलली जातील. अशी वाहने मग रुळांच्या संपर्कात न येताच प्रवास करतील. म्हणजे यात अजिबात घर्षण किंवा विरोध असणार नाही.

अशा वाहनांचा वेग ताशी ३०० मैलांपर्यंत वाढू शकेल आणि हे इतक्या सहजपणे होईल, की आपण प्रवास करत आहोत असे लोकांना भासणारदेखील नाही. या मोठ्या शक्तिशाली विजेच्या प्रवाहाचा प्रत्यक्षात वापर होण्यासाठी उच्च तापमानात अतिवाहकता मिळावी लागेल. प्रतिरोधामुळे वीज वाया गेल्यास अशी चुंबकीय वाहने अतिशयच महाग ठरतील.

नव्या पद्धतीने अणुऊर्जा मिळवण्याचा शास्त्रज्ञांचा प्रयत्न चालू आहे. सध्या वापरात असलेल्या अणुविभाजनाच्या पद्धतीऐवजी

अणूंच्या एकत्रीकरणाची पद्धत वापरली जाणे शक्य आहे. अणूंच्या एकत्रीकरणातून खूप मोठ्या प्रमाणावर ऊर्जा निर्मिती करता येईल व ती अधिक सुरक्षितही असेल.

परंतु लहान अणूंना एका जागी जखडून ठेवून त्यांचे एकत्रीकरण करण्यासाठी खूप शक्तिशाली चुंबकीय क्षेत्राची आवश्यकता असते, ही यातील एक मोठी अडचण आहे. उच्च तापमानात अतिवाहकता मिळाल्यास चुंबकीय क्षेत्रे अधिक शक्तिशाली व कमी खर्चात बनवता येतील. आतापर्यंत अणूंच्या एकत्रीकरणातून ऊर्जा मिळवण्यासाठी शास्त्रज्ञ गेली ३० वर्षे प्रयत्न करत आहेत; परंतु अद्याप ते प्रत्यक्षात शक्य झालेले नाही. कदाचित उच्च तापमानात अतिवाहकता मिळाल्यास ते शक्य होईलही. मग मानवजातीला सौरऊर्जेप्रमाणेच कधीही न संपणारा ऊर्जेचा एक नवा स्रोत मिळेल.

ज्या शास्त्रज्ञांनी प्रथम, उच्च तापमानात अतिवाहकता असते असा शोध लावला, त्यांना १९८७ साली नोबेल पारितोषिक देण्यात आले याचे म्हणूनच आश्चर्य वाटत नाही. स्वित्झर्लंडचे के. अँलेक्स म्युलर व पश्चिम जर्मनीचे जे. जॉर्ज बेडनोर्झ हे ते दोन शास्त्रज्ञ होत.

शास्त्रज्ञांना 'केवल शून्या'बाबत कुतूहल होते व त्याच्या शक्य तितके जवळ जाण्याचा त्यांनी प्रयत्न केला व त्यातूनच इतक्या शीत तापमानाचा निरनिराळ्या द्रव्यांवरील परिणाम त्यांनी अभ्यासला, त्यातूनच या नव्या क्षेत्राची सुरुवात झाली.